Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 4, Oct- Nov. 2022, p. 483- 497

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، مهر - آبان ۱۴۰۱ ص.۴۹۷-۴۸۳

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir
Full Research Paper

Effect of oligofructose and microencapsulation on viability of *Lactobacillus rhamnosus* and physicochemical and sensory properties of functional jelly

Fatemeh Karegar[1], Rezvan Pourahmad[2*], Peyman Rajaei[3]

Received: 2021.03.19
Revised: 2021.06.02
Accepted: 2021.06.09
Available Online: 2023.01.04

How to cite this article:
Karegar, F., Pourahmad, R., Rajaei, P. (2022). Effect of oligofructose and microencapsulation on viability of *Lactobacillus rhamnosus* and physicochemical and sensory properties of functional jelly. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. *18* (4), 483-497.

Abstract

Introduction: Nowadays, with the development of probiotic products on the world market, the need for developing new products containing probiotic bacteria becomes more apparent. Probiotics are defined as living microorganisms that, if consumed in sufficient quantities, will have beneficial effects on the health of the host. Probiotics are now widely used in the production of food products and account for approximately 65% of functional foods. Probiotics often belong to either the genus *Lactobacillus* or *Bifidobacterium*. *Lactobacillus rhamnosus* is one of the known probiotic bacteria with beneficial properties. Prebiotics are defined as indigestible compounds, mainly carbohydrates that can be used as carbon source for probiotic bacteria and stimulate their growth and viability. Oligofructose is a type of short chain inulin and is one of the most well- known prebiotics. Moreover, microencapsulation of probiotic bacteria can improve the survival of these bacteria. In this approach, living probiotic cells are covered or trapped by various compounds. Hydrocolloids such as alginate and carbohydrates such as starch can be suitable compounds for microencapsulation. The purpose of this study was to investigate the effect of oligofructose and microencapsulation on the viability of *Lactobacillus rhamnosus,* textural, physicochemical and sensory characteristics of functional jelly.

Materials and methods: In this study, different concentrations (0, 1.5 and 3 percent) of oligofructose as prebiotic were used to produce jelly samples, and 10^7 CFU/mL of probiotic bacteria (free and microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus*) was inoculated. Microencapsulation of probiotic bacteria was performed by emulsion method using sodium alginate and corn resistant starch. The jelly samples were stored at 4˚C for two weeks. pH, acidity, dry matter, firmness, probiotic bacterial count and sensory properties (taste, odor, texture, color and overall acceptance) of the samples were evaluated on the first, 7th and 14th days of jelly production. Seven samples including 6 treatments and 1 control sample (without probiotic bacteria and prebiotic compound) with three replications were studied. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), followed by the Duncan's multiple range test to determine the significant difference between samples at 95% confidence level ($p<0.05$) using the SAS 9.4 M4 Software. The charts were drawn by Excel 2013.

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
(*Corresponding Author Email: rjpourahmad@yahoo.com)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.69465.1025

Results and discussion: The results of sensory evaluation showed that the effect of different percentages of oligofructose on the sensory parameters, except for the taste, was not significant ($p>0.05$). Using 1.5% oligofructose and probiotic bacteria (free or microencapsulated) did not change the score of taste but the use of 3% oligofructose and free probiotic bacteria decreased the score of this parameter. The effect of storage time on sensory properties (taste, odor, texture, color and overall acceptance) was significant ($p<0.05$) so that with increasing storage time, the score of sensory parameters decreased. The results of physicochemical tests indicated that with increasing oligofructose, dry matter increased and acidity decreased ($p<0.05$). The results of texture analysis showed that the microencapsulation of probiotic bacteria and addition of oligofructose significantly ($p<0.05$) increased the firmness of jelly texture. During storage period, pH and dry matter significantly ($p<0.05$) decreased but acidity and firmness of jelly texture increased. The results of probiotic bacterial count indicated that the use of microencapsulated probiotic bacteria and oligofructose significantly ($p<0.05$) increased the survival of *Lactobacillus rhamnosus*. The viability of probiotic bacterai decreased during storage period, t however, the number of probiotic bacteria in the samples was in the range of 10^6- 10^7 CFU/g. On the first and 7th days, no mold and yeast contamination was observed in the samples and on the 14th day, the number of molds and yeasts was less than 10 CFU/g. The sample containing microencapsulated probiotic bacteria and 3% oligofructose (sample 4) was selected as the best sample in terms of probiotic bacterial count and textural, physicochemical and sensory quality. Therefore, it is possible to produce synbiotic jelly with the desired quality.

Keywords: Oligofructose, Microencapsulation, Functional Jelly, *Lactobacillus rhamnosus.*

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 4, Oct- Nov. 2022, p. 483- 497

نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۱ ص.۴۹۷-۴۸۳

مقاله علمی-پژوهشی

اثر الیگوفروکتوز و ریزپوشانی بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ژله فراسودمند

فاطمه کارگر[۱]- رضوان پوراحمد[۲]*- پیمان رجایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

چکیده

امروزه با گسترش فرآورده‌های پروبیوتیک در بازارهای جهانی، لزوم مطالعه بیشتر در خصوص تولید فرآورده‌های جدید حاوی این باکتری‌ها بیشتر آشکار می‌شود. پروبیوتیک‌ها به‌عنوان میکروارگانیسم‌های زنده‌ای تعریف می‌شوند که در صورت مصرف به مقدار کافی، اثرات مفیدی بر سلامت میزبان خواهند گذاشت. در حال حاضر پروبیوتیک‌ها به‌صورت گسترده‌ای در تهیه محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و تقریباً ۶۵٪ از غذاهای فراسودمند را به‌خود اختصاص می‌دهند. هدف از این تحقیق بررسی اثر الیگوفروکتوز و ریزپوشانی بر زنده‌مانی باکتری *لاکتوباسیلوس رامنوزوس*، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ژله فراسودمند بود. در این تحقیق ۷ تیمار (۶ تیمار تست و ۱ تیمار شاهد) با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. اثر زمان نگهداری بر مزه، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی معنی‌دار بود (p<۰/۰۵) اما اثر درصدهای مختلف الیگوفروکتوز به‌جز شاخص مزه بر سایر شاخص‌ها معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). نتایج نشان داد با افزایش زمان نگهداری شاخص‌های pH، زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک، ماده خشک و شاخص‌های ارزیابی حسی (مزه، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی) کاهش و مقدار اسیدیته و سفتی بافت افزایش معنی‌داری یافت (p<۰/۰۵). همچنین با افزایش مقدار الیگوفروکتوز شاخص‌های pH و ماده خشک افزایش ولی اسیدیته کاهش یافت (p<۰/۰۵). علاوه بر این افزودن الیگوفروکتوز و ریزپوشانی باکتری باعث افزایش سفتی بافت و زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک شد. نمونه حاوی باکتری ریزپوشانی‌شده و ۳٪ الیگوفروکتوز به‌عنوان بهترین نمونه از نظر تعداد باکتری‌های پروبیوتیک (10^7 CFU/g) و ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی طی دوره نگهداری انتخاب گردید. بنابراین امکان تولید ژله فراسودمند با کیفیت مطلوب وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: الیگوفروکتوز، ریزپوشانی، ژله فراسودمند، *لاکتوباسیلوس رامنوزوس*

مقدمه

امروزه در سراسر جهان به علت افزایش آگاهی مردم تقاضا برای غذاهای فراسودمند به‌سرعت افزایش‌یافته است. غذاهای فراسودمند، محصولاتی هستند که دارای اثرات سلامت‌بخش برای فرد مصرف‌کننده باشند. از جمله غذاهای فراسودمند محصولات پروبیوتیکی است. پروبیوتیک‌ها میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که اگر به میزان کافی مصرف شوند، اثر سودمندی بر سلامتی میزبان می‌گذارند. اگرچه حد مجاز مصرف یا مقدار مطلوب و مؤثر باکتری‌های پروبیوتیک به عوامل زیادی از جمله ویژگی سویه، شرایط فیزیولوژیکی بدن، نوع رژیم غذایی و سلامتی فرد بستگی دارد ولی معمول‌ترین محدوده تعریف‌شده حدود 10^6-10^7 cfu/ml باکتری پروبیوتیک زنده در هر گرم از غذا ذکرشده است. برخی از اثرات سلامت بخش پروبیوتیک‌ها عبارت‌اند از مهار پاتوژن‌های باکتریایی، کاهش کلسترول، کاهش بیماری‌ها نظیر یبوست، اسهال، سرطان روده، تقویت تحمل لاکتوز، جذب کلسیم، تولید ویتامین‌ها و تحریک سیستم ایمنی. باکتری‌های پروبیوتیک عمدتاً شامل گونه‌های *لاکتوباسیلوس* هستند: *لاکتوباسیلوس‌ها*، باکتری‌های باسیلی شکل و کوکوباسیلی، گرم مثبت، فاقد اسپور، کاتالاز، اکسیداز و ایندول منفی هستند که قادر به احیاء نیترات نمی‌باشند. *لاکتوباسیلوس رامنوزوس*[۴] یکی از شناخته‌شده‌ترین باکتری‌های پروبیوتیک است. نقش آن در درمان اختلالات دستگاه گوارش کاملاً ثابت‌شده است.

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
* - نویسنده مسئول Email: rjpourahmad@yahoo.com
DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.69465.1025

4 *Lactobacillus rhamnosus*

پری‌بیوتیک‌ها ترکیباتی کربوهیدراته هستند که بدن قادر به هضم آن‌ها نیست ولی موجب بهبود ماندگاری پروبیوتیک‌ها در روده می شوند. پری‌بیوتیک‌ها اجزای غذایی غیرقابل هضم یا با هضم کم هستند که در برابر هضم در قسمت‌های بالایی دستگاه گوارش مقاوم هستند و بدون تغییر زیاد به روده می‌رسند و در کولون به صورت انتخابی توسط میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک متابولیزه می‌شوند. معمولاً پری‌بیوتیک‌ها به‌عنوان ترکیبات با تخمیرپذیری انتخابی تعریف می‌شوند که باعث تغییرات ویژه در ترکیب و یا فعالیت بار میکربی روده و رفاه و سلامت میزبان می‌گردند. پری‌بیوتیک‌هایی که بیشتر مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته‌اند شامل اینولین، فروکتوالیگوساکاریدها و گالاکتوالیگوساکاریدها هستند. ماده غذایی که به صورت هم‌زمان حاوی میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک و ترکیبات پری‌بیوتیک باشد، سین‌بیوتیک نامیده می‌شود که در محصولات سین‌بیوتیک، پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها به‌منظور دستیابی به اثر هم‌افزایی مورداستفاده قرار می‌گیرند. غذاهای سین‌بیوتیک، بخش قابل توجهی از غذاهای فراسودمند را تشکیل می‌دهند (Golestani and Pourahmad, 2017).

اینولین مانند الیگوفروکتوز در دسته بتافروکتان‌ها می‌باشد. اینولین یک ترکیب پری‌بیوتیک غیرقابل هضم است. منبع اصلی اینولین مورد استفاده در صنعت غذا، سیب‌زمینی شیرین و ریشه کاسنی می‌باشد. اینولین ترکیبی محلول در آب بوده و حلالیت آن وابسته به دما است (Boroughni et al., 2018). در خصوص اثر پری‌بیوتیکی الیگوفروکتوز بر باکتری‌های پروبیوتیک در محصولات غذایی، تحقیقاتی صورت گرفته است که از جمله می‌توان به بررسی‌های انجام شده توسط Butrabi و Marhamatizadeh (۲۰۱۸)، Boroughni و همکاران (۲۰۱۸)، Cardarelli و همکاران (۲۰۰۸)، Aghajani و همکاران (۲۰۱۴)، و Momtaheni و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد.

علاوه بر افزودن ترکیبات پری‌بیوتیکی، روش مناسب دیگری که باعث بهبود بقاء و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک می‌گردد، ریزپوشانی این باکتری‌ها است. ترکیبات مورد استفاده برای پوشش دهی و محصور کردن پروبیوتیک‌ها باید در حلال‌های قابل قبول از نظرصنایع غذایی (آب، الکل) قابلیت انحلال داشته، همچنین از ترکیباتی با درجه غذایی بوده و مقرون به صرفه باشند. کربوهیدرات‌ها (نشاسته و مالتودکسترین)، هیدروکلوئیدها (نظیر کارگینان و آلژینات)، لیپیدها و پروتئین‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Zuidam and Shimoni, 2010).

ژله یا لرزانک، آب‌میوه پخته‌شده در شکر حاوی ژلاتین است که در هوای سرد منعقد می‌شود. در حال حاضر ژله بیشتر به صورت پودر ژله یافت می‌شود که باید آن را با آب سرد و گرم مخلوط و در یخچال منعقد کرد (Azari Anpar et al., 2016). در خصوص تحقیقات مشابهی که انجام شده می‌توان به بررسی Sabzichi Esfahalan (۲۰۱۴) اشاره نمود که تولید ژله میوه‌ای سین‌بیوتیک با استفاده از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و فروکتوالیگوساکارید را در دو سطح ۲ و ۴ درصد ارزیابی نمود و گزارش کرد که افزودن فروکتوالیگوساکارید باعث افزایش اسیدیته و کاهش pH نمونه‌ها طی دوره نگهداری می‌گردد و اثر مثبتی بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* طی دوره نگهداری دارد. همچنین Rajabpour و همکاران (۲۰۲۰) تولید ژله سین‌بیوتیک حاوی *باسیلوس کوآگولانس* و گالاکتوالیگوساکارید را بررسی نموده و اظهار داشتند امکان تولید محصول با ویژگی‌های کیفی مناسب وجود دارد و *باسیلوس کوآگولانس* از زنده‌مانی خوبی طی دوره نگهداری برخوردار است (Rajabpour et al., 2020). در یک پژوهش دیگر نیز Talebzadeh و Sharifan (۲۰۱۶) تولید دسر ژله پروبیوتیک حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* را طی ۴۸ روز نگهداری بررسی نموده و گزارش کردند که زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* در نمونه‌های حاوی باکتری‌های ریزپوشانی شده نسبت به نمونه‌های حاوی باکتری‌های آزاد طی دوره نگهداری به‌طور قابل توجهی بیشتر است (Talebzadeh and Sharifan, 2016). همچنین Miranda و همکاران (۲۰۲۰) تولید آب‌نبات ژله‌ای پروبیوتیک غنی شده با میوه‌های جنگل آتلانتیک و *باسیلوس کوآگولانس* را بررسی نموده و اعلام کردند این محصول طی ۹۰ روز نگهداری کیفیت فیزیکوشیمیایی و حسی مطلوبی داشته و جمعیت باکتری پروبیوتیک در آن بیش از 10^6 CFU/g بوده است (Miranda et al., 2020). تاکنون در خصوص تولید ژله فراسودمند حاوی *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* ریزپوشانی شده و الیگوفروکتوز بررسی انجام نشده است لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر الیگوفروکتوز و ریزپوشانی بر زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* و خواص بافتی، فیزیکوشیمیایی و حسی ژله فراسودمند بوده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی سوسپانسیون باکتری *لاکتوباسیلوس رامنوزوس*

لاکتوباسیلوس رامنوزوس PTCC 1637 به‌صورت آمپول لیوفیلیزه از مرکز کلکسیون باکتری‌ها و قارچ‌های سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران تهیه شد. جهت فعال‌سازی باکتری، ویال حاوی باکتری به محیط MRS Broth منتقل گردید. سپس به انکوباتور ۳۷ درجه سانتی‌گراد در شرایط بی‌هوازی منتقل و به مدت ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. سپس سوسپانسیون باکتری سانتریفوژ

شده و رسوب حاصله در آب پپتونه ۰/۱ درصد حل گردید. تراکم باکتری ($۱/۵\times ۱۰^{۸}$ CFU/mL) با استفاده از روش مک فارلند به وسیله اسپکتروفوتومتر تعیین شد (در واقع میزان جذب نور در سوسپانسیون باکتری درطول موج ۶۲۵ نانومتر باید ۰/۱۳- ۰/۰۸ باشد). در مرحله بعد ۱ میلی‌لیتر از این سوسپانسیون باکتری به لوله حاوی ۹ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد تا تراکم $۱۰^{۷}$ CFU/ml به دست آید (Mousavi et al., 2011).

ریزپوشانی باکتری *لاکتوباسیلوس رامنوزوس*

ریزپوشانی باکتری با استفاده از روش امولسیون و در شرایط سترون انجام شد. ابتدا ۳ گرم آلژینات سدیم و ۲ گرم نشاسته مقاوم ذرت (Hi- maize 260 National starch UK) به آرامی به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. پس از حل شدن مواد در آب، محلول در اتوکلاو استریل و با محیط هم دما شد، محلول آلژینات با سوسپانسیون باکتری با غلظت تعیین شده ($۱۰^{۷}$ CFU/ml) به مدت ۵ دقیقه مخلوط گردید تا همگن شود. برای تشکیل امولسیون، مخلوط حاصل با ۵۰۰ میلی‌لیتر روغن ذرت حاوی ۰/۲ درصد امولسیفایر توئین ۸۰ ریخته شد. با استفاده از همزن مغناطیسی (سرعت ۵۰۰rpm) به مدت ۳۰ دقیقه امولسیون یکنواختی تشکیل شد. به‌منظور تشکیل پوشینه‌ها به محلول مورد نظر، کلرید کلسیم ۰/۱ مولار اضافه و پس از ۳۰ دقیقه که پوشینه‌ها تەنشین شدند، به‌منظور جداسازی پوشینه‌ها از سانتریفوژ ۳۵۰G به مدت ۱۰ دقیقه استفاده شد. پوشینه‌های جداشده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (Talebzadeh and Sharifan, 2017).

تهیه نمونه‌های ژله

تولید ژله با اقتباس از روش Hosseini Nejad و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفت. مقدار ۴۰ گرم پودر ژله با بلوم ۱۸۰ (کیوکب، چین) به یک لیتر آب مقطر اضافه گردید. الیگوفروکتوز (با درصدهای صفر، ۱/۵ و ۳ درصد) (کیوکب، چین) به آن افزوده و در حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد کاملاً حل گردید. سپس برای مدت ۵ دقیقه جوشیده و تا دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد سرد شد. باکتری *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* در غلظت $۱۰^{۷}$ cfu/ml (به صورت آزاد و ریزپوشانی شده) به ژله در حال سرد شدن در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد اضافه‌شده و آهسته یکنواخت گردید. ژله نیم ساعت در دمای محیط قرارگرفته و بعد در یخچال به مدت دو هفته نگهداری شد. آزمون‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و ارزیابی حسی در روزهای اول، هفتم و چهاردهم انجام پذیرفت (Hosseini Nejad et al., 2015).

اسیدیته و pH

اسیدیته بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۸۲ اندازه‌گیری شد و نتایج برحسب درصد اسیدسیتریک گزارش شد (Anonymous, 2016). pH نمونه‌ها توسط pHمتر (Metrohm، سوئیس) اندازه‌گیری شد.

ماده خشک

مقدار ماده خشک با استفاده از قرار دادن نمونه در آون ۱۰۰ درجه و اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها و استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (Anonymous, 2016):

$$TS = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100 \qquad (۱)$$

TS: ماده خشک (درصد).

M_3: وزن ظرف و نمونه بعد از خشک‌کردن برحسب گرم.

M_2: وزن ظرف و نمونه قبل از خشک‌کردن برحسب گرم.

M_1: وزن ظرف خالی.

سفتی بافت

سفتی بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز بافت مدل TA.Xtexpress با پروب استوانه‌ای ۲۲ میلی‌متر، عمق نفوذ ۴ میلی‌متر و سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری و ثبت شد (Rezaeizadeh and Raftani Amiri, 2017).

زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک

شمارش *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* با استفاده از محیط MRS آگار بەوسیله روش پورپلیت انجام شد. گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ روز صورت گرفت (Golestani and Pourahmad, 2017).

شمارش کپک و مخمر (کنترل آلودگی)

شمارش کپک و مخمر بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۹۹ با استفاده از محیط کشت سابرودکستروز آگار انجام پذیرفت. گرمخانه‌گذاری به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت (Anonymous, 2008).

ارزیابی حسی

ارزیابی خصوصیات حسی (مزه، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی) با استفاده از روش هدونیک نه نقطه‌ای در فواصل زمانی روز اول، روز

هفتم و چهاردهم توسط ۱۰ ارزیاب آموزش‌دیده انجام پذیرفت که به نمونه خیلی خوب امتیاز: ۹ و نمونه خیلی ضعیف: ۱ تعلق گرفت (Hosseini Nejad et al., 2015).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور بررسی ویژگی‌های کمی و معنی‌داری داده‌ها با وجود ۷ تیمار و ۳ تکرار از آنالیز واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح ۹۵٪ اطمینان استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از نرم‌افزار SAS 9.4 M4 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

اسیدیته و pH

نتایج مقایسه میانگین pH نمونه‌ها (جدول ۱) نشان داد با افزایش درصدهای مختلف الیگوفرکتوز pH نمونه‌ها افزایش یافت ($p<0.05$). مطابق با نتایج پس از چهارده روز نگهداری بیشترین مقدار pH متعلق به تیمار T_4 بود و کمترین مقدار pH متعلق به تیمار T_6 بود. همچنین طی زمان نگهداری، pH نمونه‌ها به علت تولید اسیدهای آلی توسط باکتری پروبیوتیک کاهش یافت ($p<0.05$).

جدول ۱- مقدار pH ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ۱۴ روز نگهداری

Table 1- pH value of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

14 Day روز چهاردهم	7 Day روز هفتم	1 Day روز اول	Treatment تیمار	
5.347± 0.006^{Bb}	5.653± 0.055^{Aa}	5.613± 0.055^{Acb}	Free bacteria+ 3% oligofructose باکتری آزاد+ ۳٪ الیگوفروکتوز	T_1
5.363± 0.025^{Bb}	5.620± 0.104^{Aab}	5.543± 0.035^{Acd}	Free bacteria+ 1.5% oligofructose باکتری آزاد+ ۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_2
5.393± 0.025^{Ab}	5.473± 0.078^{Ab}	5.463± 0.059^{Ad}	Free bacteria+ 0% oligofructose باکتری آزاد+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_3
5.540± 0.01^{Ba}	5.683± 0.112^{Aa}	5.683± 0.084^{Aab}	Microencapsulated bacteria +3% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده +۳٪ الیگوفروکتوز	T_4
5.133± 0.015^{Bc}	5.190± 0.036^{ABc}	5.257± 0.074^{Ae}	Microencapsulated bacteria + 1.5% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده+۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_5
5.037± 0.021^{Bd}	5.143± 0.15^{Ac}	5.247± 0.078^{ABe}	Microencapsulated bacteria + 0% oligofructose باکتری:ریزپوشانی‌شده+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_6
5.523± 0.07^{Ba}	5.763± 0.0745^{Aa}	5.763± 0.11^{Aa}	Control شاهد	T_7

حروف کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین تیمارها در هر زمان می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین زمان‌های مختلف در هر تیمار می‌باشد.

مطابق با جدول ۲ با افزایش درصدهای مختلف الیگوفرکتوز مقدار اسیدیته کاهش یافت ($p<0.05$). در روز چهاردهم نگهداری بیشترین مقدار اسیدیته متعلق به تیمار T_6 بود و کمترین مقدار اسیدیته متعلق به تیمارهای T_3، T_4، T_1 و نمونه شاهد بود. طی زمان نگهداری، اسیدیته نمونه‌ها افزایش یافت ($p<0.05$). دلیل تغییرات اسیدیته و pH می‌تواند مربوط به زنجیره کوتاه الیگوفروکتوز و استفاده آسان‌تر آن برای میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک باشد (Sabzichi Esfahalan, 2014). الیگوفروکتوز یک ترکیب پری‌بیوتیک رایج است که سبب تحریک رشد باکتری‌ها و تولید متابولیت‌ها توسط باکتری می‌شود، در نتیجه باعث کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌ها طی دوره نگهداری می‌شود. به‌طور مشابه، Aminifar و همکاران (۲۰۱۶) خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی دسر لبنی فراسودمند حاوی مالت جو را بررسی کردند و اظهار داشتند pH نمونه‌های طی دوره نگهداری کاهش و اسیدیته نمونه‌ها افزایش یافت و دلیل آن را افزایش تولید اسیدلاکتیک توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک بیان کردند (Aminifar et al., 2016). همچنین Sabzichi Esfahalan (۲۰۱۴) تولید ژله میوه‌ای سین‌بیوتیک با استفاده از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و فروکتوالیگوساکارید را بررسی و اعلام کرد که افزودن فروکتوالیگوساکارید باعث کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌ها طی دوره نگهداری شد (Sabzichi

Esfahalan et al., 2014). Cardarelli و همکاران (۲۰۰۸) کیفیت فیزیکوشیمیایی و زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در نوعی پنیر حاوی اینولین و الیگوفروکتوز را بررسی و اعلام نمودند مقدار pH نمونه‌ها به دلیل فعالیت باکتری‌های پروبیوتیک کاهش و اسیدیته آنها یافت (Cardarelli et al., 2008). باید متذکر شد که در تحقیق حاضر، مشخص گردید که ریزپوشانی باکتری پروبیوتیک می تواند باعث افزایش pH شود به‌طوری‌که pH تیمار ۴ (حاوی باکتری ریزپوشانی شده و ۳٪ الیگوفروکتوز) بیشتر از تیمار ۱ (حاوی باکتری آزاد و ۳٪ الیگوفروکتوز) بوده و در کل pH تیمار ۴ از تمام تیمارها بیشتر است. در یک بررسی مشابه انجام شده توسط Talebzadeh و Sharifan (۲۰۱۶)، در روز اول تفاوت معنی‌داری بین pH نمونه‌های ژله حاوی باکتری پروبیوتیک آزاد و نمونه‌های حاوی باکتری ریزپوشانی شده، مشاهده نگردید ولی در پایان دوره نگهداری، pHنمونه حاوی باکتری ریزپوشانی شده بیشتر بود (Talebzadeh and Sharifian, 2016). در بررسی دیگری که توسط Mohammadi و همکاران (۲۰۱۴) انجام پذیرفت، تفاوت معنی‌داری بین pH نمونه‌های حاوی باکتری آزاد و نمونه‌های حاوی باکتری ریزپوشانی شده، مشاهده نگردید (Mohammadi et al., 2014).

جدول ۲- میزان اسیدیته (درصد بر حسب اسیدسیتریک) ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Table 2- Acidity value (citric acid %) of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

14 Day روز چهاردهم	7 Day روز هفتم	1 Day روز اول	Treatment تیمار	
0.820± 0.02^{dA}	0.703± 0.015^{dB}	0.610± 0.017^{dC}	**Free bacteria+ 3% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۳٪ الیگوفروکتوز**	T_1
0.910± 0.01^{cA}	0.810± 0.026^{cB}	0.713± 0.015^{cC}	**Free bacteria+ 1.5% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۱/۵٪ الیگوفروکتوز**	T_2
0.803± 0.015^{dB}	0.823± 0.021^{cB}	0.917± 0.015^{bA}	**Free bacteria+ 0% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۰٪ الیگوفروکتوز**	T_3
0.803± 0.015^{dA}	0.700± 0.02^{dB}	0.603± 0.015^{dC}	**Microencapsulated bacteria +3% oligofructose** **باکتری ریزپوشانی‌شده +۳٪ الیگوفروکتوز**	T_4
1.063± 0.064^{bA}	0.907± 0.021^{bB}	0.917± 0.021^{bB}	**Microencapsulated bacteria + 1.5% oligofructose** **باکتری ریزپوشانی‌شده+۱/۵٪ الیگوفروکتوز**	T_5
1.133± 0.058^{aA}	1.127± 0.025^{aA}	1.130± 0.157^{aA}	**Microencapsulated bacteria + 0% oligofructose** **باکتری:ریزپوشانی‌شده+ ۰٪ الیگوفروکتوز**	T_6
0.813± 0.015^{dA}	0.717± 0.015^{dB}	0.623± 0.021^{cdC}	**Control** **شاهد**	T_7

حروف کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0/05$) بین تیمارها در هر زمان می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0/05$) بین زمان‌های مختلف در هر تیمار می‌باشد.

ماده خشک

نتایج مقایسه میانگین ماده خشک نمونه‌ها (جدول ۳) نشان داد با افزایش مقدار الیگوفروکتوز مقدار ماده خشک نمونه‌ها افزایش یافت($p\leq0/05$). طی زمان نگهداری ماده خشک بیشتر نمونه‌ها کاهش یافت ($p<0/05$). پس از چهارده روز نگهداری بیشترین مقدار ماده خشک متعلق به تیمار T_4 بود و کمترین مقدار ماده خشک متعلق به نمونه شاهد بود. مواد جامد در مخلوط ژله، هرچه بیشتر جایگزین آب شود ارزش غذایی، قوام و بافت محصول را بهتر می‌کند. این خصوصیات به‌خصوص در مواقعی که افزایش مواد جامد در اثر افزودن کربوهیدرات‌ها باشد بیشتر خواهد شد و از آنجایی که فروکتوالیگوساکارید به‌عنوان جایگزین چربی با پایه کربوهیدرات می‌باشد قادر است تا ۳ برابر وزن خود آب جذب کند. دلیل کاهش ماده خشک طی دوره نگهداری می‌تواند به دلیل زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک و مصرف ترکیبات به خصوص کربوهیدرات توسط باکتری‌های پروبیوتیک برای رشد و فعالیت متابولیکی در طول فرایند تخمیر و حین نگهداری باشد (Rajabpour et al., 2020; Desouza et al., 2013; Rajabpour et al., 2020). Sabzichi Esfahalan (۲۰۱۴) در تولید ژله میوه‌ای سین‌بیوتیک نشان دادند نمونه حاوی ۴ درصد فروکتوالیگوساکارید دارای بیشترین مقدار ماده خشک بود (Sabzichi Esfahalan et al., 2014). Ahmadi و همکاران (۲۰۱۴) طی تحقیقی در به‌کارگیری باکتری *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* به صورت ریزپوشانی و آزاد را در تهیه ماست بستنی

نشان دادند بیشترین میزان ماده خشک و افزایش حجم مربوط به نمونه‌های حاوی ۸ درصد فروکتوالیگوساکارید بود (Ahmadi et al., 2014).

جدول ۳- میزان ماده خشک (درصد) ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ۱٤ روز نگهداری

Table 3- Dried matter of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

14 Day روز چهاردهم	7 Day روز هفتم	1 Day روز اول	Treatment تیمار	
4.400± 0.065[Ab]	4.567 ± 0.053[Aa]	4.600 ±0.056[aA]	Free bacteria+ 3% oligofructose باکتری آزاد+ ۳٪ الیگوفروکتوز	T_1
4.367± 0.058[Bc]	4.467 ±0.028[Aab]	4.533± 0.058[abA]	Free bacteria+ 1.5% oligofructose باکتری آزاد+ ۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_2
4.033± 0.058[Be]	4.200 ±0.020[Ad]	4.300± 0.038[cA]	Free bacteria+ 0% oligofructose باکتری آزاد+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_3
4.520± 0.053[Aa]	4.570 ±0.053[Aa]	4.592± 0.020[aA]	Microencapsulated bacteria +3% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده +۳٪ الیگوفروکتوز	T_4
4.367± 0.058[Ac]	4.500 ±0.073[Aab]	4.528± 0.078[abA]	Microencapsulated bacteria + 1.5% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده+۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_5
4.133± 0.044[Bd]	4.238± 0.030[Aab]	4.447± 0.051[bA]	Microencapsulated bacteria + 0% oligofructose باکتری:ریزپوشانی‌شده+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_6
3.800± 0.073[Bf]	4.300± 0.200[Ac]	4.567± 0.085[abA]	Control شاهد	T_7

حروف کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین تیمارها در هر زمان می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در هر تیمار می‌باشد.

جدول ٤- میزان سفتی بافت ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Table 4- Texture hardness of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

14 Day روز چهاردهم	7 Day روز هفتم	1 Day روز اول	Treatment تیمار	
179.333± 3.512[aA]	172.333± 3.215[cdB]	171.000± 3.000[bbB]	Free bacteria+ 3% oligofructose باکتری آزاد+ ۳٪ الیگوفروکتوز	T_1
175.000± 1.732[bA]	171.333± 1.041[cdB]	169.000± 1.000[bcC]	Free bacteria+ 1.5% oligofructose باکتری آزاد+ ۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_2
173.333± 2.309[cA]	170.000± 1.359[dB]	163.333± 2.887[dC]	Free bacteria+ 0% oligofructose باکتری آزاد+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_3
181.000± 1.557[aA]	180.000± 1.000[aA]	175.333± 2.509[aB]	Microencapsulated bacteria +3% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده +۳٪ الیگوفروکتوز	T_4
180.000± 1.583[aA]	1791.000± 3.000[abA]	173.333± 3.504[abB]	Microencapsulated bacteria + 1.5% oligofructose باکتری ریزپوشانی‌شده+۱/۵٪ الیگوفروکتوز	T_5
175.333± 2.082[bA]	173.667± 2.033[cB]	168.333± 2.082[bcC]	Microencapsulated bacteria + 0% oligofructose باکتری:ریزپوشانی‌شده+ ۰٪ الیگوفروکتوز	T_6
169.667± 3.041[dA]	168.000± 1.000[eA]	158.333± 1.505[cB]	Control شاهد	T_7

حروف کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین تیمارها در هر زمان می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در هر تیمار می‌باشد.

سفتی بافت

مقایسه میانگین سفتی بافت نمونه‌ها نشان داد با افزایش مقدار الیگوفروکتوز و ریزپوشانی باکتری و همچنین با افزایش زمان نگهداری مقدار سفتی بافت افزایش یافت (p<۰/۰۵). در تمام زمان‌های نگهداری مقدار سفتی نمونه‌ها از نمونه شاهد بیشتر بود. پس از چهارده روز نگهداری بیشترین سفتی بافت متعلق به تیمارهای T_1، T_4 و T_5 و کمترین سفتی بافت متعلق به نمونه شاهد بود. یکی از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت بافت مواد غذایی، ترکیبات و اجزای فرمولاسیون آن‌ها می‌باشد. برای برخی مواد غذایی بافت از رنگ و طعم آن مهم‌تر است. خواص بافتی مواد غذایی در پذیرش آن از سوی مصرف‌کننده اهمیت و نقش به سزایی دارد. سفتی یا قدرت ژل به غلظت ژلاتین، سفتی ذاتی ژلاتین، pH، دما و حضور افزودنی‌ها بستگی دارد. سفتی ذاتی ژلاتین یک عملکرد از ساختمان و وزن مولکولی آن است (Burey et al., 2009). علت افزایش سفتی بافت با افزایش پری‌بیوتیک الیگوفروکتوز تا سطح ۳ درصد می‌تواند به زنجیره آن مرتبط باشد. این ترکیب قادر به جذب مولکول‌های آب و تشکیل شبکه ژل مانند بوده که می‌تواند باعث تقویت سفتی نمونه‌ها شود (Sabzichi Esfahalan, 2014). Ricardo و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی پیرامون اثر اینولین به‌عنوان یک پری‌بیوتیک بر پایداری شیر تخمیر شده با گونه‌های مختلف باکتری پروبیوتیک نشان دادند اینولین باعث افزایش میزان سفتی و استحکام نمونه‌ها می‌شود (Ricardo et al., 2011).

زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک

مطابق با جدول ۵ در روز اول، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید. در روزهای هفتم و چهادهم تفاوت بین تیمارها معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود و بیشترین شمارش باکتری پروبیوتیک در تیمار T_4 (حاوی باکتری ریزپوشانی شده و ۳٪ الیگوفروکتوز) مشاهده گردید و کمترین شمارش باکتری پروبیوتیک متعلق به تیمارهای T_2 و T_3 بود. همچنین با افزایش زمان نگهداری، شمارش باکتری پروبیوتیک در تمام تیمارها به‌جز T_4 کاهش معنی‌داری (p<۰/۰۵) یافت. بین کاهش pH و کاهش تعداد باکتری‌های پروبیوتیک رابطه مستقیمی وجود دارد.

جدول ۵- شمارش لاکتوباسیلوس رامنوزوس (Log CFU/g) در ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Table 5- Count of *Lactobacillus rhamnosus* (Log CFU/g) in functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

14 Day روز چهاردهم	7 Day روز هفتم	1 Day روز اول	Treatment تیمار	
6.761± 0.012^{Cd}	6.892± 0.015^{Bc}	7.032± 0.024^{Aa}	**Free bacteria+ 3% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۳٪ الیگوفروکتوز**	T_1
6.719± 0.017^{Ce}	6.845± 0.006^{Bd}	6.999± 0.007^{Aa}	**Free bacteria+ 1.5% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۱/۵٪ الیگوفروکتوز**	T_2
6.736± 0.007^{Ce}	6.799± 0.007^{Be}	7.005± 0.014^{Aa}	**Free bacteria+ 0% oligofructose** **باکتری آزاد+ ۰٪ الیگوفروکتوز**	T_3
7.035± 0.012^{Aa}	7.083± 0.006^{Aa}	7.03± 0.011^{Aa}	**Microencapsulated bacteria +3% oligofructose** **باکتری ریزپوشانی‌شده +۳٪ الیگوفروکتوز**	T_4
6.99± 0.003^{Bb}	7.001± 0.007^{Ab}	6.997± 0.007^{ABa}	**Microencapsulated bacteria + 1.5% oligofructose** **باکتری ریزپوشانی‌شده+۱/۵٪ الیگوفروکتوز**	T_5
6.943± 0.003^{Bc}	6.979± 0.025^{B}b	7.041± 0.028^{Aa}	**Microencapsulated bacteria + 0% oligofructose** **باکتری:ریزپوشانی‌شده+ ۰٪ الیگوفروکتوز**	T_6
-	-	-	**Control** **شاهد**	T_7

حروف کوچک متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین تیمارها در هر زمان می‌باشد.

حروف بزرگ متفاوت در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در هر تیمار می‌باشد.

به عبارت دیگر کاهش بیش از حد pH طی دوره نگهداری می‌تواند به دلیل مصرف کربوهیدرات‌ها و تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌ها باشد. پدیده کاهش pH می‌تواند به دلیل رها شدن آنزیم‌هایی از سلول‌های باکتری مرده طی دوره نگهداری تشدید یابد. همچنین مشخص شده که باکتری‌های ریزپوشانی شده در برابر محیط با pH کمتر و دمای بیشتر مقاوم‌تر بوده و نسبت به

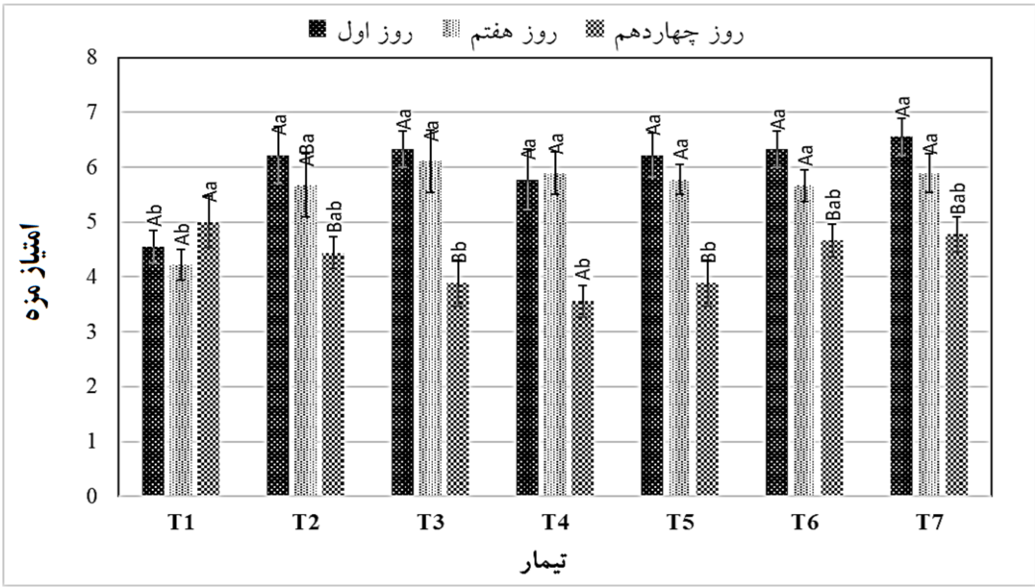
باکتری‌های آزاد زنده‌مانی بیشتری دارند (Talebzadeh and Sharifian, 2016). تکنیک ریزپوشانی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای نگهداری و افزایش قابلیت زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها اثبات شده است زیرا میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک را در طی زمان فرآیند و نگهداری و در شرایط اسیدی داخل معده محافظت می‌کند (Martin et al., 2014). به‌طور مشابه، Rajabpour و همکاران (۲۰۲۰) اعلام کردند تعداد باکتری پروبیوتیک در ژله سین‌بیوتیک حاوی *باسیلوس کوآگولانس* و گالاکتوالگوساکارید طی زمان نگهداری کاهش یافت (Rajabpour et al., 2020). Boroughni و همکاران (۲۰۱۸) در یک پژوهش مشابه دیگر، پیرامون اثر الیگوفروکتوز و نوع کشت میکروبی بر زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک در ماست پروبیوتیک اظهارداشتند، مقدار pH و تعداد باکتری‌های پروبیوتیک با گذشت زمان کاهش و مقدار اسیدیته افزایش یافت (Boroughni et al., 2018). همچنین Pyrani (۲۰۱۳) طی بررسی فرمولاسیون تولید دسر لبنی سین‌بیوتیک بر پایه غلات حاوی باکتری *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* با استفاده از تکنولوژی ریزپوشانی طی ۲۱ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد اعلام نمود که تعداد باکتری‌های پروبیوتیک طی دوره نگهداری کاسته شد (Pyrani et al., 2013). Talebzadeh و Sharifian (۲۰۱۶) در یک تحقیق مشابه دیگر، دسر ژله پروبیوتیک حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* را طی ۴۸ روز نگهداری بررسی کردند (Talebzadeh and Sharifian, 2016). نتایج نشان داد تیمارهای حاوی باکتری‌های ریزپوشانی شده نسبت به تیمارهای حاوی باکتری‌های آزاد حتی در روزهای ۳۵ و ۴۸ نگهداری هم دارای جمعیت پروبیوتیک قابل قبول بودند. همچنین افزایش زمان نگهداری باعث کاهش تعداد باکتری‌های پروبیوتیک شد و در روزهای ۳۵ و ۴۸ نگهداری هیچ‌گونه باکتری پروبیوتیکی در حالت آزاد وجود نداشت. به‌طور مشابه، Mohammadi و همکاران (۲۰۱۱) طی بررسی بستنی پروبیوتیک نشان دادند پلی‌ساکاریدهای کوتاه زنجیر که ترکیبات پری‌بیوتیک نامیده می‌شوند مفیدترین اثر را بر پایداری پروبیوتیک‌ها دارند و می‌توانند بر بافت محصول اثر مفیدی داشته باشند (Mohammadi et al., 2011). Akin و همکاران (۲۰۰۷) نیز اثر اینولین و شکر بر زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در بستنی پروبیوتیک را بررسی کردند و اظهار داشتند؛ با گذشت زمان از تعداد باکتری‌های پروبیوتیک کاسته می‌شود (Akin et al., 2007).

کپک و مخمر

شمارش کپک و مخمر صرفا به‌منظور کنترل آلودگی ثانویه انجام پذیرفت. در روزهای اول و هفتم نگهداری، آلودگی کپک و مخمر در نمونه‌ها مشاهده نشد و در روز چهاردهم تعداد کپک و مخمر در نمونه‌ها کمتر از ۱۰ CFU/g بود.

ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ۱۴ روز نگهداری در شکل‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده است. با توجه به شکل ۱، پس از چهارده روز نگهداری بیشترین امتیاز مزه متعلق به تیمارهای T_2، T_4، T_6 و نمونه شاهد بود و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری از نظر مزه وجود نداشت همچنین طی زمان نگهداری امتیاز مزه نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<۰/۰۵$). با توجه به شکل ۲، در تمامی دوره‌های نگهداری اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها از نظر امتیاز بو مشاهده نگردید و باگذشت زمان نگهداری امتیاز بو نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت ($p <۰/۰۵$). با توجه به شکل ۳، در تمامی دوره‌های نگهداری نمونه‌ها از نظر امتیاز بافت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و امتیاز بافت نمونه‌ها طی زمان نگهداری کاهش معنی‌داری یافت ($p <۰/۰۵$). مطابق با نتایج ارائه شده در شکل ۴، در کلیه روزهای نگهداری هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها از نظر رنگ وجود نداشت. همچنین طی زمان نگهداری امتیاز رنگ نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت ($p <۰/۰۵$). مطابق با نتایج ارائه شده در شکل ۵، در کلیه روزهای نگهداری هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها از نظر پذیرش کلی وجود نداشت و طی زمان نگهداری امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$). به‌طور کلی نتایج ارزیابی حسی نشان داد با افزایش زمان نگهداری امتیازات بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی همسو با نمونه شاهد کاهش یافت. افزودن ۱/۵ درصد الیگوفروکتوز و تلقیح باکتری پروبیوتیک (به صورت آزاد و ریزپوشانی شده) تغییری در امتیاز مزه ایجاد نگردید ولی با افزودن ۳ درصد الیگوفروکتوز و تلقیح باکتری پروبیوتیک به صورت آزاد امتیاز مزه کاهش یافت. درک طعم در سیستم‌های ژلی به سفتی بافت و نوع عامل ژل‌کننده وابسته است. زمانی که بافت نمونه سفت می‌باشد زمان بیشتری لازم است تا نمونه خرد شود و به‌نظر می‌رسد به این دلیل درک مواد طعم‌زا کاهش می‌یابد و چون درک طعم و پذیرش نمونه رابطه مستقیمی دارد، سفتی بافت منجر به کاهش درک طعم و در نتیجه کاهش پذیرش نمونه می‌شود (Rezaee et al., 2012). همچنین برخی تحقیقات نشان داده‌اند رهاسازی طعم به‌طور معنی‌داری با بافت ژل در ارتباط است. ژل ژلاتین به دلیل ایجاد بافت سفت‌تر باعث رهایش کمتر مواد طعمی می‌شود و در مجموع این وقایع باعث کاهش امتیازات ارزیابی حسی به‌ویژه امتیاز پذیرش کلی می‌شود (Koliandris et al., 2008). Nabipour (۲۰۱۶) طی تحقیقی اعلام نمود، در نمونه‌های ژله با غلظت های پایین ژلاتین و کنسانتره انار با توجه به بافت و ظاهر نامناسب و عدم وجود رنگ مناسب، پذیرش کلی بسیار پایین است (Nabipour, 2016).

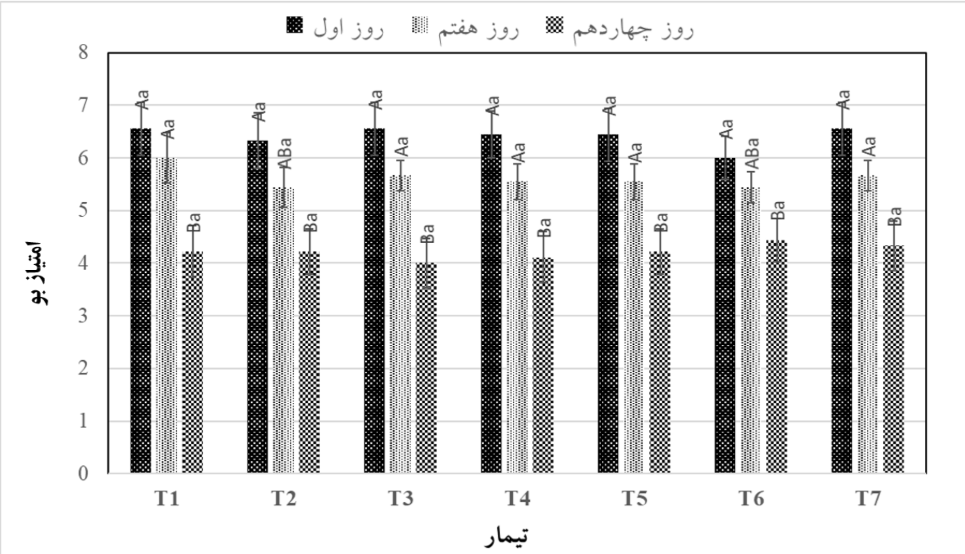


شکل ۱ – امتیاز مزه ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Fig. 1. Taste score of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف در یک زمان می‌باشد.



شکل ۲– امتیاز بو ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

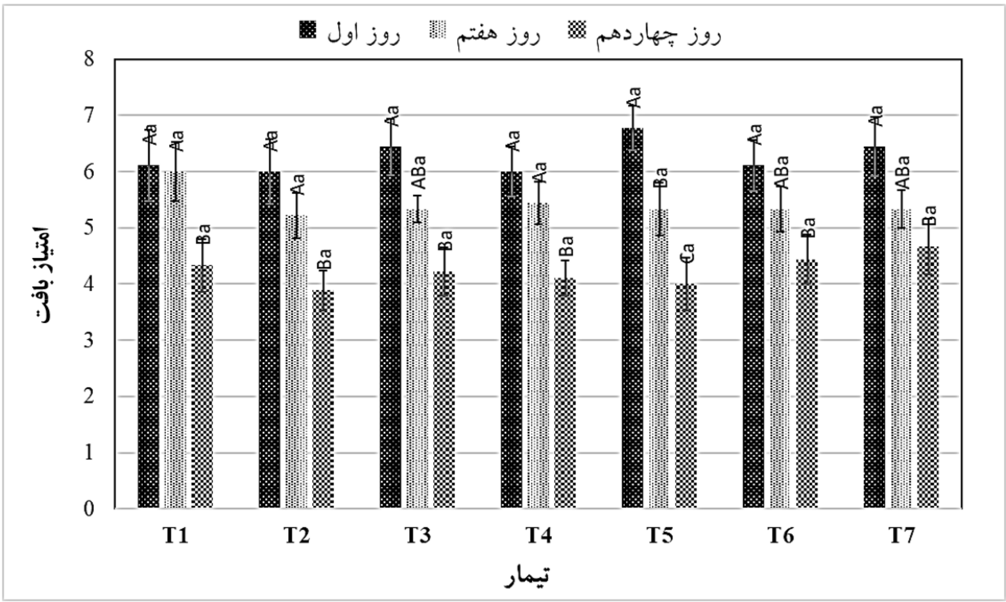
Fig. 2. Odor score of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار (p< ۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف در یک زمان می‌باشد.

Moghadas Kiya و همکاران، (۲۰۱۸) اثر ژلاتین و میزان کنسانتره انار در فرمولاسیون ژله پروبیوتیک را مورد مطالعه قرار دادند (Moghadas Kiya et al., 2018). با افزایش درصد ژلاتین، تأثیر منفی بر پذیرش کلی مشاهده شد. در ارزیابی ماندگاری باکتری پروبیوتیک، بیشترین میزان رشد باکتری در روز هجدهم نگهداری به دست آمد. بر مبنای نتایج این پژوهش، می‌توان در فرمولاسیون ژله خوراکی با کاربرد سویه پروبیوتیک و جایگزینی کنسانتره انار، قابلیت پذیرش فرآورده نهایی و خواص سلامت بخشی آن را افزایش داد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن را بهبود بخشید. Talebzadeh و Sharifian (۲۰۱۶) دسر ژله‌ای پروبیوتیک حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* را طی نگهداری بررسی کردند. نتایج نشان داد نمونه‌های ژله حاوی باکتری‌های ریزپوشانی شده نسبت به

باکتری‌های آزاد دارای پذیرش کلی بهتری بودند (Talebzadeh and Sharifian, 2016). در یک بررسی مشابه دیگر، Rajabpour و همکاران (۲۰۲۰) اعلام نمودند استفاده از باکتری پروبیوتیک *باسیلوس کوآگولانس* و ترکیب پری بیوتیک گالاکتوالیگوساکارید اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی ژله سین‌بیوتیک نسبت به نمونه شاهد نداشت و در پایان دوره نگهداری، نمونه‌ها از کیفیت حسی قابل قبولی برخوردار بودند (Rajabpour et al., 2020).

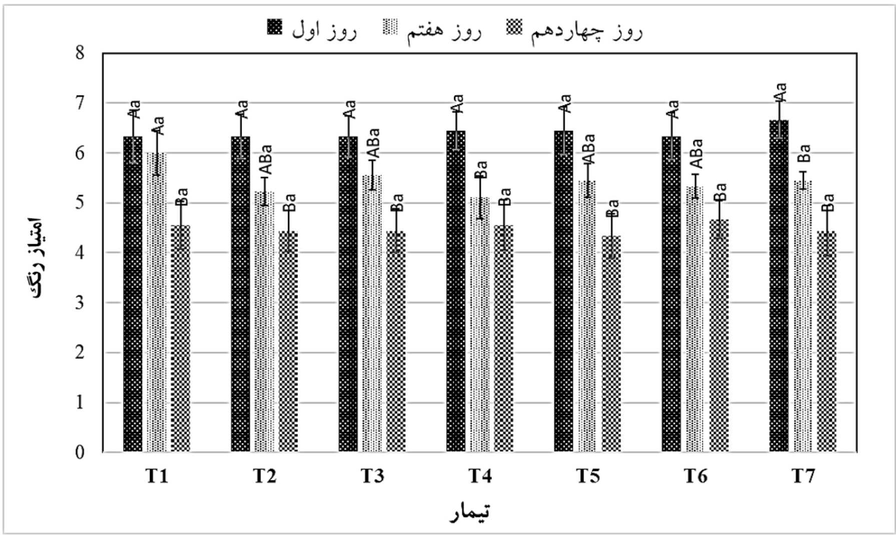


شکل ۳- امتیاز بافت ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Fig. 3. Texture score of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار (p< ۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف در یک زمان می‌باشد.

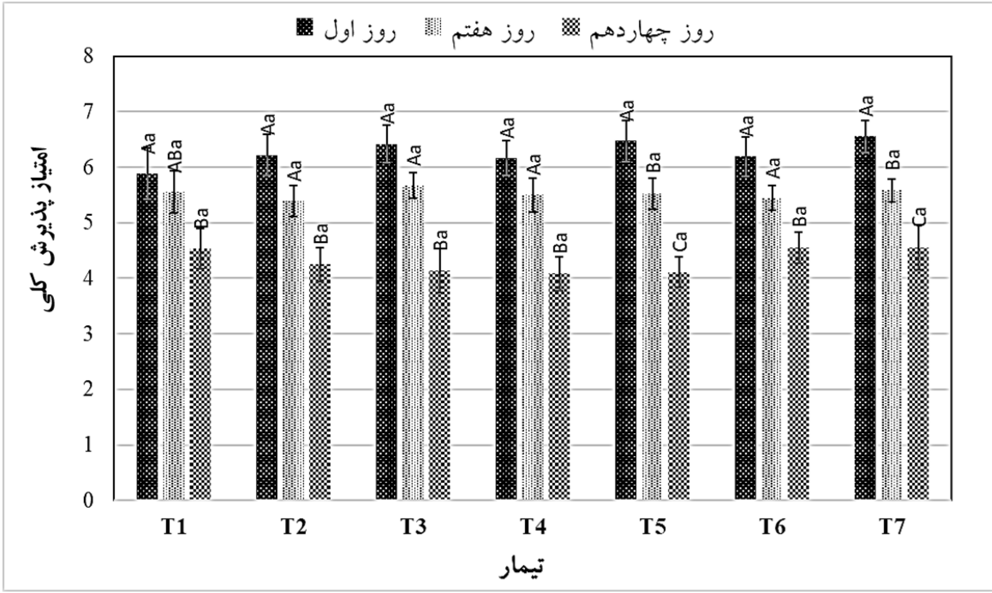


شکل ٤- امتیاز رنگ ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ١٤ روز نگهداری

Fig. 4. Color score of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار (p< ۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف در یک زمان می‌باشد.



شکل ۵- امتیاز پذیرش کلی ژله فراسودمند حاوی الیگوفروکتوز طی ۱۴ روز نگهداری

Fig. 5. Overall acceptance score of functional jelly containing oligofructose during 14 days of storage

حروف متفاوت بزرگ نشانگر اختلاف معنی دار ($p<0.05$) بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد.

حروف متفاوت کوچک نشانگر اختلاف معنی دار ($p< 0.05$) بین تیمارهای مختلف در یک زمان می‌باشد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر الیگوفروکتوز و ریزپوشانی بر زنده‌مانی باکتری *لاکتوباسیلوس رامنوزوس* و ویژگی‌های بافتی، فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته و ماده خشک) حسی (مزه، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی) ژله فراسودمند انجام گردید. نتایج حاکی از اثر مثبت ریزپوشانی و افزودن پری بیوتیکی الیگوفروکتوز بر ویژگی‌های کیفی ژله فراسودمند بود. در واقع با افزایش مقدار الیگوفروکتوز شاخص‌های pH و ماده خشک افزایش و مقدار اسیدیته کاهش یافت. علاوه بر این افزودن الیگوفروکتوز و ریزپوشانی باکتری باعث افزایش سفتی بافت و زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک شد. طی زمان نگهداری، شاخص‌های pH، زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک، ماده خشک و پارامترهای حسی (مزه، بو، بافت، رنگ و پذیرش کلی) کاهش و مقدار اسیدیته و سفتی بافت افزایش یافت. تیمار T4 (باکتری ریزپوشانی‌شده+ ۳٪ الیگوفروکتوز) دارای بالاترین جمعیت باکتری پروبیوتیک، کمترین اسیدیته، بالاترین pH بود و در ضمن بیشترین سفتی بافت را داشت. به همین دلیل این تیمار به‌عنوان تیمار برتر انتخاب گردید. بنابراین امکان تولید ژله سین بیوتیک با کیفیت مطلوب وجود دارد.

منابع

1. Aghajani, A., Pourahmad, R. and Mahdavi Adeli, H. R. (2014). The effect of oligofructose, lactulose and inulin mixture as prebiotic on physicochemical properties of synbiotic yogurt. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 4(2): 33-40.
2. Ahmadi, A., Milani, E., and Madadlou, A. (2014). Synbiotic yogurt-ice cream produced via incorporation of microencapsulated *lactobacillus acidophilus* (la-5) and fructooligosaccharide. *Journal Food Science and Technology*, 51: 1568–1574. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0679-y
3. Akin, M. B., Akin, M. S. and Kirmaci, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice cream. *Food Chemistry*, 104: 93-99. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.030
4. Aminifar, M., Miyani, S., Alami, M., Ghaffarpour, M., Dastmalchi, F., Maghsoudloo, Y., and Mohammadi, M. (2016). Investigation of physicochemical, textural and sensory properties of ultra-beneficial dairy dessert with barley malt without shell. *Iranian Biosystems Engineering*, 47(3): 509-501 (in Persian).
5. Anonymous, (2008). Iranian Institute of Standards and Industrial Research. Measuring the amount of mold and yeast in desserts. National Standard No. 1-10899 (in Persian).

6. Anonymous, (2016). Iranian Institute of Standards and Industrial Research. Jelly products, characteristics and test methods, National Standard No. 2682 (in Persian).
7. Azari Anpar, M., Khamiri, M., Alami, M., and Faraji Kafshgari, S. (2016). Microencapsulation and increase the stability and efficiency of probiotics. The Second National Conference on Probiotics and Healthy Foods, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (in Persian).
8. Boroughni, M., Pourahmad, R., and Akbari Moghari, A. (2018). The effect of oligofructose and type of microbial culture on the amount of conjugated linolenic acid and the survival of probiotic bacteria in probiotic yogurt. *Journal of Food Microbiology*, 5(3): 48-36 (in Persian).
9. Burey, P., Bhander, B. R., Rutgers, R .P .G., Halley, P. J , and Torley, P. J. (2009). Confectionery gels: A review formulation,rheological and structural aspect. *International Journal of Food Properties*, 12(1): 176-210. https://doi.org/10.1080/10942910802223404
10. Butrabi, S. Z., and Merhamatizadeh, M. (2018). The effect of adding inulin and oligofructose in probiotic ice cream using *Bifidobacterium bifidum*, 12th Iranian Congress of Veterinary Students, Semnan, Semnan University (in Persian).
11. Cardarelli, H. R., Buriti, F. C. A., Castro, I. A., and Saad, S. M. I. (2008). Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase the probiotic viable count in potentially synbiotic petit-suisse cheese. *LWT- Food Science and Technology*, 41(6): 1037–1046. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.001
12. Desouza, A. H. P, Costa G. A. N, da Silva Miglioranza, L. H, Furlaneto–Maia L and Oliveira A. F. (2013). Microbiological, physical, chemical and sensory characteristics of milk fermented with *Lactobacillus plantarum*. Acta Scientiarum. *Journal of Health Sciences*, 351:125–131.
13. Ebrahimi Jam, S., Zarringhalami, S., and Ganjloo, A. (2019). Quinoa– based gluten– free fermented beverage Production using probiotic bacteria. *Journal of Food Research*, 29(1): 27-42.
14. Golestani, M. and Pourahmad, R. (2017). Comparison of three treatments (two fermented treatments and one non-fermented treatment) in production of synbiotic ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41 (2): 1-6. https://doi.org/10.1111/jfpp.12839
15. Hosseini Nejad, M., Mohtashami, M., Kamali, S., and Elahi, M. (2015). Optimization of low-calorie fruit jelly powder formulations using sucralose and isomalt sweeteners. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Industry*, 4(1): 74-65 (in Persian).
16. Martín, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M. A., and Morales, M. E. (2014). Microencapsulation of bacteria: a review of different technologies and their impact on the probiotic effects. Innov. *Food Science and Emerging Technology*, 27, 15–25. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010
17. Miranda, J. S., Costa, B. V., de Oliveira, I. V., de Lima, D. C. N., Martins, E. M. F., Júnior, B. R. D. C. L., ... & Martins, M. L. (2020). Probiotic jelly candies enriched with native Atlantic Forest fruits and Bacillus coagulans GBI-30 6086. *Lwt*, *126*, 109275.https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109275
18. Moghadas Kiya E, Nabi poor Barbin M, Ghasem pooor Z, Naseri L, and Ehsani A. (2018). A survey about qualitative and sensory indices of edible jelly containing pomegranate concentrate and *Lactobacillus paracasei*, *FSCT*, 15 (77): 88-79 (in Persian).
19. Mohammadi, N., Fahimdanesh, M., Ahari, H. and Khosravi Zanjani, M.A. (2014). Production of functional mayonnaise sauce using probiotic bacteria microencapsulated by alginate and resistant corn starch. *Food Technology and Nutrition*, 11 (2): 73-80 (in Persian).
20. Mohammadi, R., Mortazavian, A. M., Khosrokhavar, R., and Cruz, A. G. (2011). Probiotic ice cream: viability of probiotic bacteria and sensory properties. *Food Microbiology*, 61:411–424. https://doi.org/10.1007/s13213-010-0188-z
21. Momtaheni, S., Pourahmad, R. and Akbarian Mooghari, A. (2015). Physicochemical, microbial and sensory characteristics of low-fat stirred yogurt containing *Bifidobacterium lactis* and prebiotic compounds. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 12(3): 361-367.
22. Mousavi, Z. E., Mousavi, Z., Razavi, S. H.. Emam_Djomeh, Z., and Kiani. H. (2011). Fermontation of pomegranate juice by probiotic lactic acid bacteria. *World Microbiology & Biotechnol*ogy, 27:123-128. https://doi.org/10.1007/s11274-010-0436-1
23. Nabipour Barbain, M. (2016). Evaluation of physicochemical and microbial properties of probiotic edible jelly containing pomegranate concentrate, Master Thesis, Department of Food Science and Technology, Afagh Institute of Higher Education, Urmia (in Persian).
24. Pyrani, S. (2014). Formulation of dairy synbiotic dessert based on cereals using microencapsulation technology of probiotic organism, Master Thesis, Faculty of Agriculture and Veterinary Sciences, Islamic Azad University of Sabzevar (in Persian).

25. Rajabpour, N., Mansouripour, S. And Hamedi, J. (2020). Feasibility study of producing and evaluation the quality properties of probiotic and synbiotic jelly containing *Bacillus coagulans. Journal of Food Microbiology*, 7 (2): 34-43 (in Persian).
26. Rezaee, F. Shahidi, M. Elahi, M. Mohebbi, M. and Nassiri Mahallati, (2012). Texture Profile Analysis of Plum Pastille by Sensory and Instrumental Methods and Optimization of its Formulation. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(1), 30 (in Persian).
27. Rezaeizadeh, A. and Raftani Amiri, Z, (2017). Extraction and properties of chicken leg gelatin and its application in cantaloupe jelly. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13 (2): 322-332 (in Persian).
28. Ricardo, P. D. S. O., Patrizia, P., Marice, N. D. O., and Attilio, C. (2011). Effect of inulin as prebiotic and synbiotic interactions between probiotics to improve fermented milk firmness. *Journal of Food Engeeniring*, 107:36-40. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.005
29. Sabzichi Esfahalan, A. (2014). Production of synbiotic fruit jelly using Lactobacillus acidophilus and fructooligosaccharide, Master Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, University of Tabriz (in Persian).
30. Talebzadeh, S., and Sharifan, A. (2016). Developing Probiotic Jelly Desserts with *Lactobacillus acidophilus*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1): 1745-4549. https://doi.org/10.1111/jfpp.13026
31. Zuidam, N. and Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. In N. J. Zuidam and V. Nedovic (Eds.), Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing (pp. 3-29): Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0_2